

Translation

10/542638
PATENT COOPERATION TREATY

PCT/EP2003/014214



PCT Rec'd PCT/PTO 19 JUL 2005

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70) 10/542638

Applicant's or agent's file reference P610942/WO/1	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/EP2003/014214	International filing date (day/month/year) 13 December 2003 (13.12.2003)	Priority date (day/month/year) 20 January 2003 (20.01.2003)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H02J 5/00		
Applicant EUROCOPTER DEUTSCHLAND GMBH		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.
2. This REPORT consists of a total of 7 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 36 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☐ Certain defects in the international application
- VIII ☐ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 10 August 2004 (10.08.2004)	Date of completion of this report 30 May 2005 (30.05.2005)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/EP2003/014214

I. Basis of the report

1. With regard to the elements of the international application:*

- ☐ the international application as originally filed
- ☒ the description:
 pages _____, as originally filed
 pages _____, filed with the demand
 pages 1-31, filed with the letter of 12 May 2005 (12.05.2005)
- ☒ the claims:
 pages _____, as originally filed
 pages _____, as amended (together with any statement under Article 19
 pages _____, filed with the demand
 pages 1-14, filed with the letter of 12 May 2005 (12.05.2005)
- ☒ the drawings:
 pages 1/9-9/9, as originally filed
 pages _____, filed with the demand
 pages _____, filed with the letter of _____
- ☐ the sequence listing part of the description:
 pages _____, as originally filed
 pages _____, filed with the demand
 pages _____, filed with the letter of _____

2. With regard to the language, all the elements marked above were available or furnished to this Authority in the language in which the international application was filed, unless otherwise indicated under this item.

These elements were available or furnished to this Authority in the following language _____ which is:

- ☐ the language of a translation furnished for the purposes of international search (under Rule 23.1(b)).
- ☐ the language of publication of the international application (under Rule 48.3(b)).
- ☐ the language of the translation furnished for the purposes of international preliminary examination (under Rule 55.2 and/or 55.3).

3. With regard to any nucleotide and/or amino acid sequence disclosed in the international application, the international preliminary examination was carried out on the basis of the sequence listing:

- ☐ contained in the international application in written form.
- ☐ filed together with the international application in computer readable form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in written form.
- ☐ furnished subsequently to this Authority in computer readable form.
- ☐ The statement that the subsequently furnished written sequence listing does not go beyond the disclosure in the international application as filed has been furnished.
- ☐ The statement that the information recorded in computer readable form is identical to the written sequence listing has been furnished.

4. ☐ The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig _____

5. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).**

* Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report since they do not contain amendments (Rule 70.16 and 70.17).

** Any replacement sheet containing such amendments must be referred to under item 1 and annexed to this report.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/EP 03/14214

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	1-14	YES
	Claims		NO
Inventive step (IS)	Claims	1-14	YES
	Claims		NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-14	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

This report makes reference to the following document:

D1: WO 00/48299 A (FADDOUL RAMZI YOUSSEF; ALSTOM UK LTD (GB); EMSON STEVEN (GB); STONE S)
17 August 2000 (2000-08-17)

The present international application pertains to a device for contactless electric power transmission in a rotary wing aircraft.

1 Novelty of the claims

1.1 D1 (figure 3) discloses a device for contactless electric power transmission and/or a control device in a system, comprising at least a first (12, 13, 14, 27) and a second part (37, 50, 16) between which power is to be transmitted, with at least one means to be controlled and to be supplied with power (AC Load, air-conditioning unit; see column 15, lines 11-14) in the first part, wherein a series resonant circuit capacitor (29) of a frequency generator (13, 14) is connected to a primary winding (primary winding from transformer (27)) of an inductive

transformer (27) that short-circuits a gap between the first part and the second part and a secondary winding (31) of the transformer arranged on the second part is connected to at least an actuating servo device (see paragraph 1.1) (a.c. transformer consisting of a bidirectional semiconductor switching device (50); page 15, columns 11-27) in the form of a matrix arrangement of switchable power semiconductors (50) (see 15, lines 29-0, and figure 4).

1.1.1 An air-conditioning unit is unquestionably a load that is adjustable by the user. The a.c. transformer in D1, even if not explicitly shown, functions such that the alternating current supplied to the compressor of the air-conditioning unit is regulated according to the desired load. In this sense the a.c. transformer in D1 is an "actuating servo device" because, during regulation of output voltage, the drive a.c. motor (actuator) makes possible the rotary movement of the compressor of the air-conditioning unit and the pressure of the operating fluid of the air-conditioning unit is regulated.

1.2.1 The subject matter of claim 1 differs from D1 in that:
the first part is stationary and the second movable, and
at least essential parts of the power transmission and the control device are arranged in the area of a rotor axle, forming the movable part, and a rotor head of a rotary wing aircraft.

Therefore, the subject matter of claim 1 is novel

(PCT Article 33(2)).

2 Inventive step of the claims

2.1 The problem to be solved over the prior art is that of supplying power to a displaced part of an existing actuator.

2.2 D1 contains no teaching pertaining to the supply of power from a static part to a movable part and would not suggest to a person skilled in the art use of the actuating servo device described in D1 in a rotary wing aircraft. Therefore, a person skilled in the art would not arrive at the subject matter of claim 1 without inventive input (PCT Article 33(3)).

Claim 1 thus meets the PCT requirements for inventive step (PCT Article 33(3)).

3 *Mutatis mutandis*, process claims 12 and 13 and use claim 14 are novel and involve an inventive step for the same reasons (paragraphs 1 and 2 above).

4 Claims 2-13 are dependent on device claim 1 and therefore likewise meet the PCT requirements for novelty and independent step (PCT Article 33(2) and (3)).

5 Industrial applicability

The claimed device is intended for use as a power supply circuit and a control circuit for piezoelectric actuators in rotary wing aircraft. Claim 1 and the claims that are dependent on it therefore meet the PCT requirements for industrial

applicability (PCT Article 33(4)).

6 Objections with respect to clarity

6.1 Claim 1

6.1.1 The applicant's attention is drawn to the fact that claim 1 does not meet the PCT requirements for clarity (PCT Article 6) owing to the phrase "essential parts of the power transmission and of the control device" (lines 14-15).

Said "essential parts" are never defined and it is not apparent which parts should be considered "essential".

Claim 1 defines only a stationary part and a movable part of the device and gives no suggestion to a person skilled in the art as to how to recognize said "essential parts" in the device. Moreover, "power transmission" is an abstract concept and not a concrete device consisting of components.

6.1.2 Claim 1 is also unclear owing to the wording "essential parts ... are arranged in the area" because "in the area" is a relative expression.

The description of the device in claim 1 gives no suggestion to a person skilled in the art as to whether a certain arrangement of the "essential parts" is in, or falls outside of, the area the rotor axles and the rotor head of the rotary wing aircraft.

6.2 Claims 12 and 13

6.2.1 Claims 12 and 13 are also unclear owing to the wording "process ... as per the device according to claim 1".

Reference of the process to the device would render the relation between the process and the device according to claim 1 unclear.

6.2.2 The term "counter-voltage" is not defined and its meaning is unclear.

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESEN

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

REC'D 27 MAY 2005

WIPO PCT

Rec'd PCT/PTO 19 JUL 2005

10/542638

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts P610942/WO/1	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/PEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP 03/14214	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 13.12.2003	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 20.01.2003
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H02J5/00, H02M7/00		
Anmelder EUROCOPTER DEUTSCHLAND GMBH		



1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 7 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.

☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).

Diese Anlagen umfassen insgesamt 36 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Bescheids
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Regel 66.2 a)ii) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☐ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☐ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 10.08.2004	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 30.05.2005
Name und Postanschrift der mit der internationalen Prüfung beauftragten Behörde  Europäisches Patentamt - P.B. 5818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk - Pays Bas Tel. +31 70 340 - 2040 Tx: 31 651 epo nl Fax: +31 70 340 - 3016	Bevollmächtigter Bediensteter Marannino, E. Tel. +31 70 340-3906 

I. Grundlage des Berichts

1. Hinsichtlich der **Bestandteile** der internationalen Anmeldung (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigelegt, weil sie keine Änderungen enthalten (Regeln 70.16 und 70.17)*):

Beschreibung, Seiten

1-31 eingegangen am 12.05.2005 mit Schreiben vom 10.05.2005

Ansprüche, Nr.

1-14 eingegangen am 12.05.2005 mit Schreiben vom 10.05.2005

Zeichnungen, Blätter

1/9-9/9 in der ursprünglich eingereichten Fassung

2. Hinsichtlich der **Sprache**: Alle vorstehend genannten Bestandteile standen der Behörde in der Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht worden ist, zur Verfügung oder wurden in dieser eingereicht, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die Bestandteile standen der Behörde in der Sprache: zur Verfügung bzw. wurden in dieser Sprache eingereicht; dabei handelt es sich um:

- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (nach Regel 23.1(b)).
- ☐ die Veröffentlichungssprache der internationalen Anmeldung (nach Regel 48.3(b)).
- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen vorläufigen Prüfung eingereicht worden ist (nach Regel 55.2 und/oder 55.3).

3. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale vorläufige Prüfung auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das:

- ☐ in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- ☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- ☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfassten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

4. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:
- ☐ Ansprüche, Nr.:
- ☐ Zeichnungen, Blatt:

5. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)).

(Auf Ersatzblätter, die solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen; sie sind diesem Bericht beizufügen.)

6. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Feststellung | |
| Neuheit (N) | Ja: Ansprüche 1-14
Nein: Ansprüche |
| Erfinderische Tätigkeit (IS) | Ja: Ansprüche 1-14
Nein: Ansprüche |
| Gewerbliche Anwendbarkeit (IA) | Ja: Ansprüche 1-14
Nein: Ansprüche |

2. Unterlagen und Erklärungen:

siehe Beiblatt

Zu Punkt V

Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

Es wird auf das folgende Dokument verwiesen:

D1: WO 00/48299 A (FADDOUL RAMZI YOUSSEF ; ALSTOM UK LTD (GB); EMSON STEVEN (GB); STONE S) 17. August 2000 (2000-08-17)

Die vorliegende internationale Anmeldung betrifft eine Vorrichtung zur berührungslosen elektrischen Energieübertragung in einem Drehflügelflugzeug.

1 Neuheit der Ansprüche

1.1 Dokument D1 offenbart (fig. 3): eine Vorrichtung zur berührungslosen elektrischen Energieübertragung und/oder Kontrolleinrichtung in einem System, umfassend mindestens ein erstes (12, 13, 14, 27) und ein zweites Teil (37, 50, 16) zwischen denen Energie zu übertragen ist, mit mindestens einem zu steuernden und mit Energie zu versorgenden Mittel (AC Load, Klimaanlage; Siehe Spalte 15, Zeile 11-14) im ersten Teil, wobei ein Reihenschwingkreiskondensator (29) eines Frequenzgenerators (13, 14) an eine Primärwicklung (Primärwicklung von Transformator 27) eines einen Trennstelle zwischen dem ersten Teil und dem zweiten Teil überbrückenden induktiven Übertragers (27) angeschlossen ist und eine auf dem zweiten Teil angeordnete Sekundärwicklung (31) des Übertragers an wenigstens eine Aktuatorstelleinrichtung (siehe Absatz 1.1) (aus bidirektionale Halbleiterschalter (50) bestehender Wechselstromwandler; Seite 15, Spalte 11-27) in der Form einer Matrixanordnung von schaltbaren Leistungshalbleitern (50) (Siehe, 15, Zeile 29-0, Abbildung 4) angeschlossen ist.

1.1.1 Eine Klimaanlage ist unzweifelhaft eine vom Benutzer verstellbare Last. Da arbeitet der Wechselstromwandler von D1, auch wenn nicht explicit gezeigt, so dass, der zum Kompressor der Klimaanlage gespeiste Wechselstrom in Abhängigkeit die gewünschte Last

geregelt wird. In diesem Sinn ist der Wechselstromwandler von D1 ein "Aktuatorstelleinrichtung" weil, während die Regelung der Ausgangsspannung, der antriebswechsellmotor (Aktuator) die rotationale Bewegung des Kompressors der Klimaanlage ermöglicht und den Druck der wirkende Flüssigkeit der Klimaanlage geregelt wird.

1.2.1 Der Gegenstand des Anspruchs 1 unterscheidet sich gegenüber D1 dadurch, dass:

- das erste Teil ist stationär und das zweite ist bewegbar.

und

- mindestens wesentliche Teile der Energieübertragung und der Kontrolleinrichtung im Bereich einer das bewegliche Teil bildenden Rotorachse und eines Rotorkopfes eines Drehflügelflugzeugs angeordnet sind.

Da ist der Gegenstand des Anspruchs 1 neu (Artikel 33(2) PCT).

2 Erfinderische Tätigkeit der Ansprüche

2.1 Das gegenüber dem Stand der Technik zulosende Problem ist:

Energie an einem bewegten Teil anwesenden Aktuator zu liefern.

2.2 Dokument 1 enthält keine Lehre die Energie vom einem statischen Teil zu einem bewegbaren Teil zu liefern und der Fachmann findet kein Hinweis um die Aktuatorstelleinrichtung von Dokument D1 in einem Drehflügelflugzeug zu gebrauchen. Deshalb würde der Fachmann den Gegenstand des Anspruchs 1 nicht ohne erfinderisches Zutun erreichen (Artikel 33(3)).

Damit erfüllt Anspruch 1 ebenfalls die Erfordernisse des PCT in Bezug auf erfinderische Tätigkeit (Artikel 33(3)).

3 Die Verfahrensansprüche 12 , 13 und der Verwendungsanspruch 14 sind mutatis mutandis für die selben Gründe (Absätze 1, 2) neu und erfinderisch.

4 Die Ansprüche 2-13 sind vom Vorrichtungsanspruch 1 abhängig und erfüllen damit ebenfalls die Erfordernisse des PCT in Bezug auf Neuheit und erfinderische Tätigkeit (Artikel 33(2), 33(3)).

5 Gewerbliche Anwendbarkeit

Die Vorrichtung des Anspruch ist zum Gebrauch wie Stromversorgungsschaltung und Steuerschaltung für piezoelektrischen Aktuatoren in Drehflügelflugzeugen, deshalb erfüllt Anspruch 1 und die vom dem abhängige Ansprüche die Erfordernisse des PCT in Bezug auf gewerbliche Anwendbarkeit (Artikel 33(4) PCT).

6 Klarheitseinwände

6.1 Anspruch 1

6.1.1 Der Anmelder wird darauf hingewiesen, dass Anspruch 1 nicht die Erfordernisse des PCT in Bezug auf Klarheit (Artikel 6 PCT) erfüllt, wegen des Ausdrucks "**wesentliche Teile der Energieübertragung** und der Kontrolleirichtung" (Zeilen 14, 15).

Zum Ersten werden diese "wesentliche Teile" nie definiert und es ist nicht möglich zu verstehen welche Teile als "**wesentlich**" angesehen werden müßten.

Anspruch 1 definiert nur ein stationäres Teil und ein bewegbares Teil der Vorrichtung und der Fachmann hat keinen Hinweis um diese "wesentliche Teile" in der Vorrichtung zu erkennen. Außerdem "**Energieübertragung**" ist ein abstrakter Begriff und keine konkrete Vorrichtung, die aus Bauteile besteht.

6.1.2 Anspruch 1 ist auch undeutlich wegen der Formulierung "**wesentliche Teile ... im Bereich ... angeordnet sind**", weil "**im Bereich**" ein relativer Ausdruck ist.

Bei der Ausführung der Vorrichtung des Anspruchs 1 hat der Fachmann keinen Hinweis zu erkennen, ob eine gewisse Anordnung der "wesentliche Teile" im Bereich oder aus der Bereich der Rotorachse und des Rotorkopfes des Drehflügelflugzeugs fällt.

6.2 Ansprüche 12 und 13

6.2.1 Ansprüche 12 und 13 sind auch nicht klar, aufgrund von der Formulierung "Verfahren ... **gemäß** der Vorrichtung nach Anspruch 1..."

Wenn gemäß der Vorrichtung auf das Verfahren beziehen würde, wäre die Verbindung dieser Beziehung zwischen dem Verfahren und der Vorrichtung nach Anspruch 1 nicht klar.

6.2.1 Der Begriff "Gegenspannung" () ist nicht definiert und es ist undeutlich was diese Gegenspannung darstellt.

Vorrichtung und Verfahren zum Übertragen und Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur berührungslosen elektrischen
5 Energieübertragung und/ oder Kontrolleinrichtung in einem System, umfassend
mindestens ein stationäres und ein bewegbares Teil, zwischen denen Energie zu
übertragen ist, mit mindestens einem zu steuernden und mit Energie zu
versorgenden Mittel im bewegbaren Teil, wobei ein eihenschwingkreiskondensator
eines Frequenzgenerators an eine Primärwicklung eines eine Trennstelle
10 zwischen dem stationären Teil und dem bewegbaren Teil überbrückenden
induktiven Übertragers angeschlossen ist.

In derartigen Systemen müssen bei entsprechendem Bedarf elektrische Energie
und Steuersignale vom stationären Teil des Systems in den bewegten Teil des
15 Systems übertragen werden, weil im bewegten Teil zumindest eine Einrichtung,
beispielsweise eine Stelleinrichtung, angeordnet ist, die im Betriebsfall mit Energie
versorgt werden muss und die funktionsbedingt gesteuert werden muss. Alternativ
sind hier auch Systeme in Betracht zu ziehen, bei denen Stelleinrichtungen, wie
beispielsweise kapazitive Aktuatoren, über eine bestimmte Entfernung hin betätigt
20 werden müssen.

Aus der Literatur, siehe z. B. : A. Esser, „A New Approach to Synchronize a
Bidirektional DC to DC Converter for Contactless Power Supplies“, ETEP Vol. 3,
No. 2, March/April 1993, ist ein Verfahren und eine Anordnungen bekannt, welche
25 die bidirektionale Übertragung elektrischer Energie über Robotergerlenke mit
beliebig großem Drehwinkel ermöglicht, ohne dass eine elektrisch leitende
Verbindung über das Drehgelenk hinweg erforderlich ist. Hierzu wird auf der
Eingangsseite des Gelenkes aus einer Gleichspannung mittels eines
Wechselrichters eine höherfrequente Wechselspannung gebildet, diese
30 Wechselspannung mittels eines induktiven Übertragers von einer Primärsspule
des Übertragers auf der einen Seite einer Trennstelle, d. h. eines Luftspaltes, auf
eine Sekundärspule, die auf der anderen Seite der Trennstelle liegt, übertragen

und dort wieder in eine Gleichspannung zurückgewandelt. Die dabei eingesetzten Gleichspannungs-/ Wechsellspannungswandler und Wechsellspannungs-/Gleichspannungswandler sind als Wechselrichter ausgebildet, so dass sie bidirektional betreibbar sind und dadurch der Energiefluss umkehrbar ist. Ein
5 Kondensator, der hinter der Trennstelle auf der Sekundärseite aufgeladen wurde, kann entladen werden, indem die Energie wieder über die Trennstelle auf die Primärseite zurückübertragen wird.

Grundsätzlich sind auch Stellanrichtungen bekannt. Als Beispiel sei hier das
10 Piezo-Element genannt, das als kapazitiver Aktuator in Automobilen, Fluggeräten oder anderen technischen Geräten dort eingesetzt wird, wo mit hoher Frequenz und mittlerer Stellkraft Bauteile zu bewegen sind. Dies kann sowohl in der Anordnung einzelner Stellglieder erfolgen, als auch in der Form von Gruppen mehrerer Stellglieder. Die DE 199 27 087 A1 beschreibt zum letztgenannten Fall
15 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Laden und Entladen mehrerer piezoelektrischer Elemente. Mittels in geeigneter Weise angesteuerter Lade- und Entladeschalter können jeweils ein oder mehrere piezoelektrische Elemente umfassende Gruppen unabhängig voneinander geladen oder entladen werden. Bei dem Energieaustausch zwischen dem sekundärseitigen Kondensator, der als
20 Pufferkondensator eine größere Kapazität als die Piezoelemente aufweist, wobei beide Kapazitäten im allgemeinen auf unterschiedliche Spannungen aufgeladen sind, wird der Lade- und Entladestrom in seinem Anstieg durch eine Spule begrenzt und durch periodisches Schalten, auch Takten genannt, in seiner Höhe eingestellt. Dieses Takten erfolgt durch Ein- und Ausschalten von
25 Halbleiterschaltern mit hoher Frequenz, wobei der in einer Spule 2 gespeicherte Lade- oder Entladestrom beim Schalten in den Halbleitern eine hohe Schaltverlustleistung erzeugt. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens und dieser Anordnung besteht in der doppelten Wandlung und der Speicherung der Energie auf dem bewegten System. Die über die Trennstelle, d.h. den Luftspalt, induktiv
30 übertragene Wechsellspannung bzw. der induktiv übertragene Wechselstrom werden auf dem bewegten System gleichgerichtet und die Energie in einer in der Regel als Elektrolytkondensator ausgebildeten Pufferkapazität, die noch

wesentlich größer als die Kapazität der Piezoelemente ist, gespeichert. Aus der Pufferkapazität werden dann ein oder mehrere Piezoelemente mit bei hoher Frequenz getaktetem Strom aufgeladen. Wünschenswert ist dagegen ein Verfahren, das die mit höherfrequenter Spannung bzw. mit höherfrequentem Strom über die Trennstelle übertragene Energie ohne Zwischenspeicherung den piezoelektrischen Elementen zuführt.

Der Druckschrift ist jedoch kein Hinweis entnehmbar, auf welche Weise die Ansteuerung der piezoelektrischen Elemente erfolgen soll, insbesondere wenn letztere auf dem bewegbaren Teil eines aus einem stationären und einem bewegbaren Teil bestehenden Systems angeordnet sind. Weiterhin ergibt sich bei besonderen bewegten System, die Erschütterungen und/oder hohen Geschwindigkeiten ausgesetzt sind, das Problem, dass bestimmte elektrische Bauteile nicht mehr für diese Betriebsbedingungen geeignet sind. Geht man beispielsweise von einer Anwendung der Vorrichtung im Bereich der Rotorachse und des Rotorkopfes eines Hubschraubers aus, so ist die Verwendung von Elektrolytkondensatoren aus Gründen der hohen mechanischen Belastung prinzipbedingt nicht möglich. Gerade bei Anwendungen mit rauen Umgebungsbedingungen, wie hohen und tiefen Temperaturen und großen Zentrifugalbeschleunigungen auf dem bewegten System, beispielsweise dem Rotorkopf eines Hubschraubers, ist ein Betrieb mit Elektrolytkondensatoren nur bei erheblichen Risiken möglich.

Die WO-A-0048299 beschreibt eine Vorrichtung zur Konvertierung höherer Spannungen, wie sie beispielsweise bei Eisenbahnen oder Straßenbahnen Verwendung finden, in niedrige Gleich- oder Wechselspannungen, wie sie zum Betrieb von Beleuchtungen oder Klimaanlage benötigt werden. Hierzu wird ein Transformator verwendet, der in bekannter Art den Primär- und den Sekundärkreis voneinander galvanisch trennt. Es ist jedoch nicht vorgesehen, Energie und Kontrollsignale von einem statischen auf einen rotierenden Teil eines Systems zu übertragen oder gar mit Hilfe der übertragenen Signale auf dem rotierenden Teil des Systems eine Aktuatorstelleinrichtung zu betreiben.

Schließlich zeigt die US-A-5709291 eine Vorrichtung, bei der kontaktlos Energie auf ein bewegbares Gerät, wie beispielsweise eine von einer Arbeitsstation zur nächsten fahrenden Palette, übertragen wird. Hierfür wird ein schienenförmiger Übertrager verwendet, der lineare Bewegungen des bewegbaren Geräts zulässt. Die mittels dieses Übertragers auf das bewegbare Gerät übertragenen Spannung wird zunächst gleichgerichtet und zum Laden einer auf dem bewegbaren Gerät mitgeführten Batterie verwendet. Aus der Batterie wird ein auf dem bewegbaren Gerät mitgeführter Motor gespeist. Eine Beeinflussung der Motorsteuerung unter Zuhilfenahme des Übertragers ist nicht beschrieben. Darüber hinaus ist dieses System zur Anwendung im Bereich der Rotorachse und des Rotorkopfes eines Hubschraubers ungeeignet, weil die Verwendung von Batterien im Bereich des Rotorkopfes aus Gewichts- und Platzgründen nicht möglich ist. Anforderungen an einen großen nutzbaren Temperaturbereich und die Resistenz gegenüber hohen Zentrifugalbeschleunigungen lassen sich bei der Verwendung von Batterien nicht erfüllen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Energieversorgung und Steuerung von kapazitiven Aktuatoren anzugeben, welche einerseits die Ansteuerung der Aktuatoren über eine bestimmte Entfernung erlauben und welche andererseits die Übertragung der Energie der auf dem bewegbaren Teil des Systems angeordneten Aktuatoren auf das durch eine Trennstelle getrennte bewegbare Teil ermöglichen und die Energie den auf dem bewegbaren Teil angeordneten Aktuatoren nach Maßgabe der gewünschten Kraftwirkungen oder der beabsichtigten Bewegungen zuführen, ohne dass eine Zwischenspeicherung der Energie in einem Elektrolytkondensator auf dem bewegbaren Teilsystem erforderlich ist.

Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen 1, 13, 14 und 15 wiedergegebenen kennzeichnenden Merkmale in hervorragender Weise gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den kennzeichnenden Merkmalen der nachbezogenen Ansprüche.

Im Rahmen der Erfindung ergeben sich noch weitere Möglichkeiten der Ausgestaltung des Verfahrens und der Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, die nachfolgend beschrieben werden.

5 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird durch einen Frequenzgenerator 2 ein Wechselstrom i_G höherer Frequenz mit von der Phasenlage und der Amplitude einer Gegenspannung u_G unabhängigen Amplitude erzeugt und mittels eines induktiven Übertragers 3 auf ein bewegbares Teilsystem übertragen. Der von der
10 Sekundärwicklung des Übertragers ausgehende höherfrequente Wechselstrom i wird mittels einer elektronischen Stelleinrichtung 4 getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten dieser Halbschwingungen in der Richtung in den Aktuator eingeprägt, dass in jeder Halbschwingung eine Längenänderung Δs des Aktuators in einer gewünschten Richtung auftritt.

15 Der Bereich der Betriebsfrequenz des Frequenzgenerators 2 liegt dabei im Bereich zwischen etwa 25 kHz und einigen MHz. Bevorzugt wird der Bereich um 100 kHz. Bei der Wahl der Betriebsfrequenz ist sowohl die zu steuernde Leistung als auch die zu überbrückende räumliche Entfernung vom Frequenzgenerator bis
20 zu den Aktuatoren zu berücksichtigen. Grundsätzlich gilt, dass mit wachsender Leistung und/ oder Entfernung die nutzbare Frequenz sinkt.

Das Verfahren zur Bereitstellung elektrischer Energie für wenigstens einen kapazitiven Aktuator, der auf dem bewegbaren Teil angeordnet ist, ist dadurch
25 gekennzeichnet, dass der Frequenzgenerator 2 im stationären Teil aus der Gleichspannung 1 einen Wechselstrom i_G höherer Frequenz mit von der Phasenlage und der Amplitude der Gegenspannung u_G unabhängigen Amplitude erzeugt und dass der Wechselstrom i_G der Primärwicklung 3a des die Trennstelle überbrückenden induktiven Übertragers zugeführt wird, wobei der von der
30 Sekundärwicklung 3b auf dem bewegbaren Teilsystem ausgehende höherfrequente Wechselstrom i wird mittels einer elektronischen Stelleinrichtung 4 getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von

diesen Halbschwingungen, stets in der Richtung in den Aktuator eingeprägt, dass in jeder Halbschwingung eine Längenänderung Δs des Aktuators in der gewünschten Richtung auftritt.

- 5 Das Verfahren zur Bereitstellung der Energie kapazitiver Aktuatoren ist auch dadurch gekennzeichnet, dass der höherfrequente Wechselstrom i durch eine elektronische Stelleinrichtung 4 nach Maßgabe des Unterschiedes $u_s - u_A$ zwischen dem Sollwert u_s der Aktuatorspannung und der aktuellen Aktuatorspannung u_A , getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen
10 oder Abschnitten von diesen Halbschwingungen, stets in derjenigen Richtung in den Aktuator eingeprägt wird, bei der der Betrag des Spannungsunterschiedes $u_s - u_A$ abnimmt.

- Das Verfahren zum Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren ist außerdem
15 dadurch gekennzeichnet, dass der höherfrequente Wechselstrom i durch eine elektronische Stelleinrichtung 4 nach Maßgabe des Unterschiedes zwischen einem Sollwert der Aktuatorlänge und dem aktuellen Istwert der Aktuatorlänge getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von diesen Halbschwingungen, in derjenigen Richtung in den Aktuator eingeprägt wird,
20 bei der der Betrag des Unterschiedes zwischen dem Sollwert der Aktuatorlänge und dem Istwert der Aktuatorlänge abnimmt.

- Das Verfahren zum Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren ist weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass der Sollwert u_s der Aktuatorspannung aus der
25 Abweichung zwischen einem Sollwert der Aktuatorlänge und dem aktuellen Istwert der Aktuatorlänge gebildet wird.

- Das Verfahren zum Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren ist auch dadurch gekennzeichnet, dass der aktuelle Istwert der Aktuatorlänge durch
30 Erfassen eines Weges oder eines Winkels an der mechanischen Übersetzung 5c des Aktuators ermittelt wird.

Das Verfahren zum Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren ist gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte: das getrennte Einprägen der Halbschwingungen mit unterschiedlicher Polarität oder entsprechender Halbschwingungsabschnitte des höherfrequenten Wechselstromes i erfolgt
5 innerhalb jeder Halbschwingung in drei aufeinanderfolgenden Phasen der Betriebszustände „Wechselrichterbetrieb“, „Leerlauf“ und „Gleichrichterbetrieb“, wobei der Übergang zwischen den Phasen der Betriebszustände durch Abschalten eines Halbleiterschalters erfolgt und wobei die Dauer bzw. das Maß der Winkelbereiche der einzelnen Phasen die Richtung und Größe des mittleren
10 Ladungs- und Energietransports bestimmt.

Schließlich ist das Verfahren zum Bereitstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren dadurch gekennzeichnet, dass die Dauer bzw. das Maß der Winkelbereiche der Phasen der Betriebszustände durch Verschieben der Leitbereiche eines in Reihe
15 liegenden Schalterpaares S1, S3 oder S2, S4 gegenüber den Leitbereichen der Schalterpaare in der Grundstellung S10, S30 oder S20, S40 eingestellt wird, und dass die Leitbereichssignale der Grundstellung S10, S30 und S20, S40 der in Reihe liegenden Schalterpaare S1, S3 und S2, S4 innerhalb eines zum eingepprägten höherfrequenten Strom i synchronisierten Schaltrasters SR eine
20 konstante Phasenlage haben.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens umfasst die Merkmale, dass sie einen Frequenzgenerator 2 aufweist, bestehend aus einem Wechselrichter mit abschaltbaren Halbleiterschaltern T1-T4 und einem nachgeschalteten
25 Reihenschwingkreis L_G , C_G , dessen Resonanzfrequenz f_G mit der Wechselrichterfrequenz f_w übereinstimmt, und eine Aktuatorstelleinrichtung 4 aufweist, die wenigstens eine Schaltung 4a, 4b, 4c mit abschaltbaren Leistungshalbleitern in Matrixanordnung enthält, welche den an dem Reihenschwingkreiskondensator C_G des Frequenzgenerators 2 abgenommenen
30 Strom i_G , i getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten aus diesen Halbschwingungen in den Aktuator 5, 5a in derjenigen Richtung einprägt, dass die in dem Aktuator gespeicherte Ladung und Energie mit

jeder Halbschwingung des Stromes entsprechend der gewünschten Längenänderung (Δs) des Aktuators zu oder abnimmt.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass einem Frequenzgenerator 2, bestehend aus einem Wechselrichter mit abschaltbaren Halbleiterschaltern T1-T4 und einem nachgeschalteten Reihenschwingkreis L_G , C_G , dessen Resonanzfrequenz f_G mit der Wechselrichterfrequenz f_w übereinstimmt, einer Aktuatorstelleinrichtung 4, die wenigstens eine Schaltung 4a, 4b, 4c mit abschaltbaren Leistungshalbleitern in Matrixanordnung enthält, welche den an dem Reihenschwingkreiskondensator C_G des Frequenzgenerators 2 abgenommenen Strom i_G , i getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten aus diesen Halbschwingungen in den Aktuator 5, 5a in derjenigen Richtung einprägt, dass die in dem Aktuator gespeicherte Ladung und Energie mit jeder Halbschwingung des Stromes entsprechend der gewünschten Längenänderung (Δs) des Aktuators zu oder abnimmt.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass der Reihenschwingkreiskondensator C_G des Frequenzgenerators 2 an die Primärwicklung 3a eines eine Trennstelle 3c überbrückenden induktiven Übertragers 3 angeschlossen ist, und dass die auf dem bewegbaren Teil befindliche Sekundärwicklung 3b des Übertragers an die Schaltungen 4a, 4b, 4c mit abschaltbaren Leistungshalbleitern in Matrixanordnung der Aktuatorstelleinrichtung 4 angeschlossen ist.

Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist auch dadurch gekennzeichnet, dass die Aktuatorstelleinrichtung 4 Mittel zur Regelung 4_R und zur Steuerung 4_{ST} des Einprägens von positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von Halbschwingungen des höherfrequenten Wechselstromes i in den Aktuator 5, 5a aufweist, dass das Mittel zur Regelung 4_R das Mittel zur Steuerung 4_{ST} über ein Signal φ in Abhängigkeit von dem Betrag des Unterschiedes $u_S - u'_A$ zwischen dem Sollwert u_S und dem Istwert u'_A der Aktuatorspannung veranlasst, unterschiedlich

große Abschnitte von Halbschwingungen des Stromes i zu bilden, und dass das Mittel zur Regelung 4_R das Mittel zur Steuerung 4_{ST} über das Signal G/W in Abhängigkeit von dem Vorzeichen des Unterschiedes $u_S - u'_A$ zwischen dem Sollwert u_S und dem Istwert u'_A der Aktuatorspannung veranlasst, die

5 Leistungshalbleiter $S1, S2, S3, S4$ in der Weise zu steuern, dass dem Aktuator 5, 5a bei negativem Vorzeichen des Unterschiedes $u_S - u'_A$ von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie entzogen wird und bei positivem Vorzeichen des Unterschiedes $u_S - u'_A$ von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie zugeführt wird.

10

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass die Aktuatorstelleinrichtung 4 Mittel zur Regelung 4_R und zur Steuerung 4_{ST} des Einprägens von positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von Halbschwingungen des höherfrequenten Wechselstromes i in den Aktuator 5, 5a aufweist, dass der Aktuator 5, 5a Mittel zur Erfassung des Istwertes der Aktuatorlänge aufweist, dass das Mittel zur Regelung 4_R das Mittel zur Steuerung 4_{ST} über ein Signal ϕ in Abhängigkeit von dem Betrag des Unterschiedes zwischen dem Sollwert und dem Istwert der Aktuatorlänge beeinflusst, unterschiedlich große Abschnitte von Halbschwingungen des Stromes i zu bilden, und dass das Mittel zur Regelung 4_R das Mittel zur Steuerung 4_{ST} über das Signal G/W in Abhängigkeit von dem Vorzeichen des Unterschiedes zwischen dem Sollwert und dem Istwert der Aktuatorlänge die Leistungshalbleiter $S1, S2, S3, S4$ in der Weise zu steuern veranlasst, dass dem Aktuator 5, 5a bei negativem Vorzeichen des Unterschiedes von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie entzogen und bei positivem Vorzeichen des Unterschiedes von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie zugeführt wird.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aktuator 5, 5a Mittel zur Erfassung des Istwertes der Aktuatorlänge aufweist und dass die Aktuatorstelleinrichtung Mittel zur Bildung eines Sollwertes

30

u_s der Aktuatorspannung aus der Abweichung zwischen einem Sollwert der Aktuatorlänge und dem aktuellen Istwert der Aktuatorlänge aufweist.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet,
5 dass der Aktuator 5 Mittel zum Erfassen und Umwandeln eines Weges oder eines Winkels der mechanischen Übersetzung 5c in den Istwert der Aktuatorlänge aufweist.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist auch dadurch
10 gekennzeichnet, dass dem Mittel zur Steuerung 4_{ST} des Einprägens von Halbschwingungen oder Abschnitten von Halbschwingungen des Wechselstromes i in den Aktuator Signale SR eines zum Wechselstrom i synchronisierten Schaltrasters zugeführt werden, dass das Mittel zur Steuerung 4_{ST} Logikmittel umfasst, welche aus Signalen SR des Schaltrasters Leitbereichssignale S10, S30
15 und S20, S40 der Grundstellung der in Reihe liegenden Halbleiterschalterpaare S1, S3 und S2, S4 bilden, dass das Mittel zur Steuerung 4_{ST} Mittel zur voreilenden Verschiebung der Leitbereiche des Schalterpaares S2, S4 gegenüber der Grundstellung S20, S40 im Gleichrichterbetrieb umfasst und auch Mittel zur nacheilenden Verschiebung der Leitbereiche des Schalterpaares S1, S3
20 gegenüber der Grundstellung S10, S30 im Wechselrichterbetrieb umfasst, und dass dem Mittel zur Steuerung 4_{ST} von dem Mittel zur Regelung 4_R ein Signal G/W zur Einstellung der Richtung der Verschiebung und ein Signal φ zur Einstellung des Maßes der Verschiebung zugeführt wird.

25 Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass zur Bildung einer Ausgangsspannung u'_A, u_A der Aktuatorstelleinrichtung 4 mit nur einer Polarität der Ausgangsleiter A, B' der Schaltung 4a, 4b unipolare abschaltbare Leistungshalbleiter S1, S2, S3, S4 in Matrixanordnung enthält, dass die unipolaren abschaltbaren Leistungshalbleiter
30 auf die Polarität der Ausgangsspannung bezogen in der Richtung in die Matrix eingesetzt sind, in der sie die Ausgangsspannung u'_A, u_A als Sperrspannung

aufnehmen und den Strom $-I_A$ von dem positiven Ausgangsleiter zu einem Wechselstromeingang abschalten.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet,
5 dass zur Bildung einer Ausgangsspannung u'_A, u_A der Aktuatorstelleinrichtung 4 mit wechselnder Polarität der Ausgangsleiter A, B' die Schaltung 4c bipolare abschaltbare Leistungshalbleiter in Matrixanordnung enthält, die wahlweise positive oder negative Spannungen sperren und Ströme in beiden Stromflussrichtungen abschalten.

10

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass jeder bipolare Leistungshalbleiter aus zwei gegensinnig in Reihe geschalteten unipolaren Leistungshalbleitern besteht, wobei bei positiver Ausgangsspannung u'_A, u_A das Mittel zur Steuerung 4_{ST} die steuerbaren
15 Leistungshalbleiter (S1P, S2P, S3P, S4P), die eine positive Ausgangsspannung sperren, in der erfindungsgemäßen Weise im Gleich- und Wechselrichterbetrieb steuert und die für negative Ausgangsspannungen vorgesehenen Leistungshalbleiter S1N, S2N, S3N, S4N, solange positive Ausgangsspannung vorliegt, in den leitenden Zustand steuert, und wobei bei negativer
20 Ausgangsspannung u'_A, u_A das Mittel zur Steuerung 4_{ST} die steuerbaren Leistungshalbleiter S1N, S2N, S3N, S4N, die negative Ausgangsspannung sperren, in der erfindungsgemäßen Weise im Gleich- und Wechselrichterbetrieb steuert und die für positive Ausgangsspannung vorgesehenen Leistungshalbleiter S1P, S2P, S3P, S4P, solange negative Ausgangsspannung vorliegt, in den
25 leitenden Zustand steuert.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass der Aktuator 5 zwei elektrisch in Reihe geschaltete Stapel 5a, 5b aus piezoelektrischem Material enthält, dass an den Mittelanschluss B und einen
30 Außenleiteranschluss A der in Reihe geschalteten Stapel 5a, 5b eine erfindungsgemäße Aktuatorstelleinrichtung 4 bzw. 4.1, Fig. 7 angeschlossen ist

und an die Außenleiteranschlüsse A, C der in Reihe geschalteten Stapel 5a, 5b eine Gleichspannung u_{AV} als Vorspannung gelegt ist, die von einer Gleichspannungsquelle gebildet wird, die mindestens die Hälfte $i_A/2$ des an dem Mittelanschluss von der Aktuatorstelleinrichtung 4 eingeprägten Stromes i_A liefert und aufnimmt und dabei den Wert der Gleichspannung u_{AV} konstant hält.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gleichvorspannung u_{AV} von einem nach dem Stand der Technik ausgebildeten Netzgerät geliefert wird, dessen Ausgangskapazität so bemessen ist, dass die durch die Aktuatorstelleinrichtung 4 verursachten Ströme $i_A/2$ wechselnder Richtung keine nennenswerte Änderung der Gleichvorspannung u_{AV} verursachen.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist auch dadurch gekennzeichnet, dass die Gleichvorspannung u_{AV} an den Außenleiteranschlüssen A, C der in Reihe geschalteten Stapel 5a, 5b von einer erfindungsgemäßen Aktuatorstelleinrichtung 4.2, Fig. 7 gebildet wird, der ein konstanter Vorspannungssollwert VSS2 zugeführt ist.

Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch die Merkmale, dass mindesten zwei in ihren mechanischen Bewegungen unabhängige Aktuatoren 5.1, 5.3 mit je zwei in Reihe geschalteten Stapeln aus piezoelektrischem Material mit ihren Außenleitern A1, A3 und C1, C3 an eine gemeinsame Aktuatorstelleinrichtung 4.2 angeschlossen sind, welche die Vorspannung u_{AV2} zwischen den Außenleitern A1, C1 und A3, C3 unabhängig von den über die Aktuatoren fließenden Strömen i_{A1} , i_{A3} auf einem konstanten Wert hält, dass in jeden der Aktuatoren 5.1, 5.3 mit zwei in Reihe geschalteten Stapeln aus piezoelektrischem Material je eine Aktuatorstelleinrichtung 4.1, 4.3 über die Mittenanschlüsse B1, B3 und die gemeinsamen Außenleiteranschlüsse A1, A3 der in Reihe geschalteten Stapeln Ströme i_{A1} , i_{A3} zur Einstellung der voneinander unabhängigen Aktuatorumladespannungen u_{AU1} , u_{AU3} und der zugehörigen unabhängigen Bewegungen einprägen, dass jeder Aktuatorstelleinrichtung 4.1,

4.2, 4.3,... der eingeprägte höherfrequente Strom i' über die Sekundärwicklung b von Eingangstransformatoren 7.1, 7.2, 7.3,... zugeführt wird, deren Primärwicklungen a in Reihe geschaltet sind und einen allen Aktuatorstelleinrichtungen gemeinsamen höherfrequenten Stromzwischenkreis HFZK bilden, und dass in den höherfrequenten Stromzwischenkreis der
5 Frequenzgenerator 2 seinen Ausgangsstrom i_G als Zwischenkreisstrom i einprägt.

Die Anordnung ist schließlich dadurch gekennzeichnet, dass der Frequenzgenerator 2 seinen Ausgangsstrom i_G über einen eine Trennstelle 3
10 überbrückenden Transformator 3 als Zwischenkreisstrom i in den Stromzwischenkreis HFZK einprägt.

Der besondere Vorteil der erfindungsgemäßen berührungslosen Übertragung von Energie und/ oder Kontrollfunktionen in einem System, das mindestens ein
15 stationäres und ein bewegbares Teil umfasst, zwischen denen Energie zu übertragen ist, liegt darin dass im bewegbaren Teil keinerlei erschütterungsempfindliche Bauteile, wie beispielsweise Elektrolytkondensatoren, verwendet werden müssen und gleichzeitig wenigstens die gleiche Funktionssicherheit wie bei bisher bekannt gewordenen vergleichbaren Systemen
20 zur Steuerung und Energieübertragung bei kapazitiven Aktuatoren. Grundsätzlich eignet sich die erfindungsgemäße Anordnung und das erfindungsgemäße Verfahren ebenso gut zur Steuerung und Energieversorgung von kapazitiven Aktuatoren über kürzere oder auch größere Entfernungen, insbesondere auch für
25 Systeme, in denen keine Trennstellen zwischen stationären und bewegten Teilen überbrückt werden müssen.

Die Erfindung wird an Hand der in den Figuren 1 bis 7 schematisch vereinfacht dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

30 Fig. 1: eine schematische Anordnung zur Durchführung des Verfahrens mit einem stationären Frequenzgenerator 2, einem eine Trennstelle überbrückenden

induktiven Übertrager 3, einer Aktuatorstelleinrichtung 4 und einem kapazitiven Aktuator 5 mit einem Stapel 5a piezoelektrischen Materials,

Fig. 2: ein beispielhaftes Schaltprinzip für die schematische Anordnung nach Fig.

5 1,

Fig. 3: Diagramme a) bis e) und Schaltzustände 1 – 6 der Aktuatorstelleinrichtung 4,

10 Fig. 4: erläutert Schaltprinzip und Wirkungsweise des Leistungskernes 4c einer Aktuatorstelleinrichtung 4 mit bipolarer Ausgangsspannung u'_A ,

Fig. 5: ein Ausführungsbeispiel einer Aktuatorstelleinrichtung 4 mit beliebiger Ausgangsspannung,

15

Fig. 6: eine schematische Anordnung eines Doppelaktuators mit zwei Stapeln 5a, 5b, piezoelektrischen Materials,

20

Fig. 7: ein Ausführungsbeispiel mit 4 Doppelaktuatoren an einer gemeinsamen Energiezufuhr,

Fig. 8: die Integration einer erfindungsgemäßen Energieversorgung im Bereich der Rotorwelle und der Rotorblätter eines Drehflügelflugzeugs,

25

Fig. 9: einen Schnitt durch eine Vorrichtung zur Energieübertragung im Bereich der Rotorwelle.

Die schematische Anordnung der Erfindung in Fig.1 zeigt einen stationären Frequenzgenerator 2, der aus einer Gleichspannungsquelle 1, die eine Batterie oder ein auf Gleichspannung geladener Kondensator sein kann, einen Wechselstrom i_G höherer Frequenz von beispielsweise 100 kHz generiert, der eine von der Amplitude und der Phasenlage der Gegenspannung u_G unabhängige

Amplitude \hat{i}_G aufweist. Ein derartiger Generator kann je nach der Phasenlage der Gegenspannung Wirk- und Blindleistung abgeben und aufnehmen.

- Um die Leistung bzw. die Energie über die Trennstelle 3c zu mindestens einem
- 5 Aktuator 5 auf dem bewegbaren Teilsystem zu transportieren, wird der Wechselstrom i_G der Primärwicklung 3a eines die Trennstelle überbrückenden induktiven Übertragers 3 zugeführt. Auf dem bewegbaren Teilsystem ist die Sekundärwicklung 3b des Übertragers mit einer elektronischen Stelleinrichtung 4, die als Aktuatorstelleinrichtung wirkt und in der Regel einer Stromrichterschaltung
- 10 entspricht, verbunden. Ist das bewegbare Teilsystem drehbar, so kann der Übertrager 3 ein dem Stand der Technik entsprechender induktiver Drehübertrager sein, dessen Primärteil im Drehpunkt der Bewegung befestigt und dessen Sekundärteil im Drehpunkt drehbar gelagert ist. Die zu überbrückende Trennstelle verläuft in diesem Fall als Luftspalt im Inneren des Drehübertragers.
- 15 Für lineare Bewegungen stehen ebenfalls Linearübertrager zur Überbrückung einer entlang der Bewegungsstrecke verlaufenden Trennstelle zur Verfügung. Der aus der Sekundärwicklung 3b des Übertragers entsprechend dessen Übersetzungsverhältnisses austretende Strom i wird über eine elektronische Aktuatorstelleinrichtung 4, getrennt nach positiven und negativen
- 20 Halbschwingungen oder Abschnitten aus diesen Halbschwingungen, stets in der Richtung in den kapazitiven Aktuator eingeprägt, in der der Betrag des Unterschiedes $u_S - u_A$ eines Spannungssollwertes u_S und der aktuellen Aktuatorspannung u_A von Halbschwingung zu Halbschwingung abnimmt. Ist der Spannungsunterschied $u_S - u_A$ zu Null geworden oder liegt dieser innerhalb eines
- 25 als Null akzeptierten Toleranzbandes, leitet die Aktuatorstelleinrichtung 4 den Strom i an dem Aktuator 5 über einen Kurzschluss der Zuleitungen zur Aktuatorstelleinrichtung vorbei. Dieser Kurzschluss ist bei eingeprägtem Strom i völlig unkritisch.
- 30 Der kapazitive Aktuator 5 wandelt die beim Aufbringen einer Ladung $\int i_A dt$ auf einen Stapel 5a piezoelektrischen Materials auftretende Längenänderung Δs über eine mechanische Übersetzung 5c in eine Winkeländerung einer Klappe 6 um.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht mit dem zur Übertragung über den induktiven Übertrager 3 zwingend erforderlichen höherfrequenten Wechselstrom i und mittels der Aktuatorstelleinrichtung 4 den Stapel 5a piezoelektrischen
5 Materials zu laden oder zu entladen, ohne dass ein Energiespeicher in Form eines Elektrolytkondensators auf dem bewegten System erforderlich ist.

Es ist offensichtlich, dass das erfindungsgemäße Verfahren auch dann zum Einstellen der Energie kapazitiver Aktuatoren angewendet werden kann, wenn
10 nicht die Aufgabe besteht, eine Trennstelle mit Hilfe eines induktiven Übertragers zu überbrücken.

Bei Vorhandensein der Trennstelle müssen in der Regel auch die Sollwerte u_s der Aktuatorspannung, die beispielsweise in einem Leitsystem LS als bitserielle
15 Datenworte generiert werden, über die Trennstelle 3c der Aktuatorstelleinrichtung 4 zugeführt werden. In dem Ausführungsbeispiel der Fig.1 werden diese mittels einer optischen oder ebenfalls induktiven, nach dem Stand der Technik ausgebildeten Datenübertragungseinrichtung DÜ über die Trennstelle übertragen und auf dem bewegbaren Teilsystem mittels eines Datenwandlers DW in die für
20 die Aktuatorstelleinrichtung geeigneten Sollwerte u_s gewandelt.

In Fig 2 sind eine beispielhafte Ausführung des erfindungsgemäßen Frequenzgenerators 2 und der Aktuatorstelleinrichtung 4 dargestellt. Der Frequenzgenerator 2 ist ein Wechselrichter und besteht aus einer
25 Brückenschaltung abschaltbarer Halbleiterleistungsschalter T1-T4, beispielsweise MOS-Feldeffekt-Transistoren oder IGBTs, mit einem Reihenschwingkreis L_G , C_G in der Brückendiagonalen und einer an den Kondensator C_G über den Übertrager 3 angekoppelten Last. Bei Übereinstimmung der Wechselrichterfrequenz f_w , die ein in der Wechselrichtersteuerung 2a enthaltener Oszillator erzeugt, mit der
30 Resonanzfrequenz des Reihenschwingkreises

$$f_G = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_G C_G}}$$

wird in den an den Kondensator angeschlossenen Übertrager 3 ein von der
Gegenspannung u_G und damit von der angeschlossenen Last unabhängiger Strom
5 i_G mit der konstanten Amplitude

$$\hat{i}_G = \hat{u}_W \cdot \sqrt{\frac{C_G}{L_G}}$$

eingepägt. In dieser Gleichung ist \hat{u}_W die Grundswingungsamplitude der
Wechselrichterspannung u_W , die bei schwankender Eingangsgleichspannung U_B
10 durch die in der Wechselrichtersteuerung 2a enthaltene Pulsweitenmodulation auf
einem konstanten Wert gehalten wird. Die Ausgangsstromamplitude \hat{i}_G des
Frequenzgenerators 2 ist sowohl von der Höhe der Gegenspannung u_G als auch
von deren Phasenlage zum Strom i_G unabhängig. Der Frequenzgenerator 2 kann
daher bei konstantem Strom \hat{i}_G nicht nur Wirk- und Blindleistung über den
15 Übertrager 3 an den bewegbaren Sekundärteil liefern, sondern auch von diesem
aufnehmen und die aufgenommene Wirkleistung der Gleichspannungsquelle U_B
zuföhren.

Die Brückenschaltung der Halbleiterleistungsschalter T1 – T4 kann, wie aus der
20 allgemeinen Lehre der Stromrichtertechnik bekannt ist, durch funktionsgleiche
Halbbrückenschaltungen mit kapazitivem Eingangsspannungsteiler oder
Transformator-Mittelpunktschaltungen ersetzt werden.

Die Höhe der Gegenspannung u_G und deren Phasenlage und somit die Richtung
25 des Energieflusses werden durch die an die Sekundärwicklung 3b des
Übertragers 3 angeschlossene Aktuatorstelleinrichtung 4 bestimmt. Diese enthält
als Stelleinrichtung 4a ebenfalls eine Brückenschaltung von
Halbleiterleistungsschaltern S1-S4, denen noch Beschaltungskondensatoren C_B

parallelgeschaltet sind, auf deren Funktion weiter unten eingegangen wird. Am Ausgang der Brückenschaltung zum Aktuator 5 hin liegt ein Filter C_F , L_F , und in die Zuleitung des höherfrequenten Wechselstromes i zur Brückenschaltung ist ein Filter C_L , L_L geschaltet.

5

Das Filter C_F , L_F dient der Begrenzung der hochfrequenten Welligkeit des Stromes i_A zum Aktuator 5. Da die Aktuatorspannung u_A über die Stelleinrichtung 4 nur mit einer Frequenz von z. B. maximal 500 Hz verstellt wird, die Frequenz der Stromwelligkeit von i_A aber den doppelten Wert der Frequenz f_W , also

10

beispielsweise 200 kHz aufweist, ist das Filter so ausgelegt, daß zwischen der niederfrequenten Aktuatorspannung u_A und dem niederfrequenten

Spannungsanteil von u'_A an dem Filterkondensator C_F kein nennenswerter

Unterschied besteht. Der Spannungsunterschied $u'_A - u_A$, der an der

Filterinduktivität L_F auftritt, ist die hochfrequente Spannungswelligkeit von

15

beispielsweise 200 kHz.

Das als Reihenschwingkreis ausgebildete und auf die Frequenz f_W des

Frequenzgenerators 2 bzw. des Stromes i abgestimmte Filter C_L , L_L ist ein

Saugkreis, der für den Strom i keinen Widerstand darstellt. Die Induktivität L_L

20

dieses Filters nimmt die beim Schalten der Leistungsschalter S1-S4 sprunghaft auftretenden Spannungsunterschiede zwischen der von dem Kondensator C_G auf

die sekundäre Übertragerwicklung 3b übertragenen Spannung u'_G und der

niederfrequenten Ausgangsspannung $u'_A \approx u_A$ der Aktuatorstelleinrichtung 4 auf.

25

Um die Aktuatorspannung u_A bzw. u'_A , die ein Maß für die in dem

piezoelektrischen Material 5a gespeicherte Ladung $\int i_A dt$ und damit auch der

Längenänderung Δs ist, den zeitlich veränderlichen Sollwerten u_s nachzuführen,

ist eine Regelung 4_R vorhanden, deren Ausgangssignale ϕ und G/W die

Steuerung 4_{ST} der Aktuatorstelleinrichtung in der Weise beeinflussen, dass der der

30

Aktuatorstelleinrichtung zugeführte Strom i getrennt nach positiven und negativen

Halbschwingungen oder Abschnitten aus diesen Halbschwingungen in der

Richtung in den kapazitiven Aktuator eingeprägt wird, dass der Betrag des Unterschiedes $u_S - u_A$ abnimmt. Ist dieser Unterschied positiv, d.h. $u_S > u_A$, muss dem Aktuator weitere Ladung zugeführt werden. Das ist identisch mit einem Energiefluss von der höherfrequenten Wechselstromseite zu der nur
5 niederfrequent veränderlichen Gleichspannungsseite mit den Spannungen u'_A bzw. u_A . Zu diesem Zweck wird die Steuerung 4_{ST} über das Signal G/W veranlasst, die Brückenschaltung S1-S4 als Gleichrichter zu steuern. Das Signal ϕ ist ein Maß für die Größe der Abweichung $u_S - u_A$ und bestimmt, wie an Hand der Fig. 3 noch ausführlicher erläutert wird, der Größe des Winkels der
10 Halbschwingungsabschnitte.

Bei negativer Abweichung $u_S - u_A$, d.h. $u_S < u_A$, wird dem Aktuator Ladung bzw. Energie entzogen und über die Aktuatorstleinrichtung 4 in den von dem höherfrequenten Strom i durchflossenen Energieübertragungskreis eingespeist.
15 Die Steuerung 4_{ST} steuert nun, veranlasst durch das Signal G/W , die Brückenschaltung S1-S4 als Wechselrichter, wobei das Signal ϕ wiederum entsprechend der Größe der Abweichung $u_S - u_A$ die Größe des Winkels der Halbschwingungsabschnitte bestimmt.

20 Die Bildung der Halbschwingungsabschnitte des Stromes i erfolgt durch Ein- und Ausschalten der Halbleiterschalter S1-S4 über die Steuerung 4_{ST} in feinen Rasterschritten synchron zum Schwingungsverlauf. Zu diesem Zweck wird mittels des Stromwandlers SW und der Schaltkreise 4_{S1} , 4_{S2} und 4_{S3} ein zu der Phasenlage des Stromes i synchrones Schaltraster SR erzeugt. In diesem
25 Schaltraster werden die Halbleiterschalter S1 - S4 sowohl im Gleichrichter- als auch im Wechselrichterbetrieb nur in solchen Zeit- bzw. Phasenwinkelbereichen eingeschaltet, in denen der Strom i bereits über die zu jedem Schalter parallelliegende Diode fließt. Beim Einschalten der Halbleiterschalter S1-S4 wird daher Einschaltverlustleistung vermieden.

30

Zur Bildung des Schaltrasters SR wird das Stromsignal eines Stromwandlers SW, der den höherfrequenten Strom i erfaßt, über eine Komparatorstufe 4_{S1} einem

ersten Phaseneingang E1 eines Phase-Lock-Loop-Schaltkreises 4_{S2} zugeführt.
Dem zweiten Phaseneingang E2 wird ein mittels eines N-stufigen Zählers 4_{S3} aus
dem Ausgangstakt f_T des PLL-Schaltkreises um den Faktor 2^N untersetztes Signal
f_{TU} zugeführt. Der PLL-Schaltkreis 4_{S2} stellt die Frequenz seines Ausgangstaktes
5 f_T so ein, dass die Frequenz- und Phasenwinkelabweichung zwischen dem
Stromsignal am Eingang E1 mit der Frequenz f_w und dem untersetzten Signal mit
der Frequenz f_{TU} am Eingang E2 Null wird. Die N-Ausgangssignale SR des N-
stufigen Zählers bilden dann das mit den Nulldurchgängen des Wechselstromes i
synchronisierte Schaltraster SR. In dem Beispiel der Fig. 2 beträgt N=6. Bei einer
10 Frequenz f_w des Stromes i von 100 kHz hat dann das Schaltraster, in dem die
Halbleiterschalter S1-S4 einmal pro 100-kHz-Periode ein- und ausgeschaltet
werden, eine zeitliche Auflösung von

$$\Delta t = \frac{1}{2^6 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}} = 156 \text{ ns.}$$

15

In Fig. 3 erläutern die Diagramme a) bis e) und die Schaltzustände 1 bis 6 das
Einstellen des Aktuatorstromes i_A, d. h. das Bilden der Halbschwingungsabschnitte
aus dem Strom i, für den Gleichrichter- und für den Wechselrichterbetrieb, wobei
Schaltverluste beim Schalten der Halbleiterschalter S1- S4 vermieden werden.

20

Diagramm 3a) zeigt den Verlauf der Spannung u am wechselstromseitigen
Eingang der Brückenschaltung S1- S4 in Zuordnung zu dem eingprägten Strom i.
Diagramm 3b) zeigt die zugehörige Bildung der Stromabschnitte aus den
Halbschwingungen des Stromes i. Spannungs- und Stromabschnitte des
25 Wechselrichterbetriebes sind durch zusätzliche Punktierung gekennzeichnet. Die
Ziffern im Spannungsdiagramm a) kennzeichnen Zeitbereiche, die den
Schaltzuständen 1 bis 6 im rechten Teil der Fig. 3 entsprechen.

Diagramm c) kennzeichnet die Leitbereiche der Dioden, die in die Schalter S1-S4
30 integriert sind.

Die Diagramme d) und e) geben die in dem synchronisierten Schaltraster SR liegenden möglichen Leitbereiche der steuerbaren Halbleiterschalter S1-S4 an und zwar Diagramm d) für den Gleichrichterbetrieb und Diagramm e) für den Wechselrichterbetrieb. Die umrandeten Leitbereiche kennzeichnen den Winkel- oder Zeitbereich, in dem die zugeordneten Schalter S1-S4 in den leitenden Zustand gesteuert sind. Für den Gleichrichterbetrieb und für den Wechselrichterbetrieb sind jeweils die Leitbereiche für drei Einstellungen des Aktuatorstromes, nämlich minimaler, mittlerer und maximaler Strom dargestellt. Zwischen den Leitbereichen der Halbleiterschalter S1 und S3, bzw. S2 und S4, die bezüglich der Aktuatorspannung u_A in Reihe geschaltet sind, befindet sich ein Lückenbereich $\Delta\phi_L$, in dem die in Reihe liegenden Schalterpaare stets gleichzeitig sperren und die zu den Schaltern parallelgeschalteten Beschaltungskondensatoren C_B , wie weiter unten näher erläutert wird, umgeladen werden. Zur Einstellung des zu übertragenden Aktuatorstromes behält in jedem Betriebszustand ein in Reihe liegendes Schalterpaar S1 und S3 oder S2 und S4 die Phasenlage seiner Leitbereiche zu dem eingepprägten Strom i bei, während die Leitbereiche des jeweils anderen Schalterpaares zwischen der Minimalstellung SXMIN, in der der minimale Strom übertragen wird, und der Maximalstellung SXMAX mit maximaler Stromübertragung in Rasterschritten Δt verschoben werden.

Bei der erfindungsgemäßen Aktuatorstelleinrichtung 4 haben die Leitbereiche in allen Betriebszuständen eine solche Phasenlage, dass der eingepprägte Strom i bei seinem Nulldurchgang entweder von einer Diode auf den bereits eingeschalteten parallelliegenden Schalter übergeht oder nach Umladen der Beschaltungskondensatoren C_B über die Diode des in Reihe liegenden Schalters weiterfließt. Dadurch sind Einschaltverluste der steuerbaren Halbleiterschalter vermieden.

Am Ende eines Leitbereiches wird der leitende Schalter abgeschaltet, der Strom i lädt dann die parallelliegenden Beschaltungskondensatoren C_B um und fließt danach ebenfalls über die Diode des in Reihe geschalteten Schalters weiter. Das

Abschalten muss bei einem Winkel $\Delta\varphi_A$ soweit vor dem nächsten Stromnulldurchgang erfolgen, dass der Strom i ausreicht, in dem auf das Abschalten folgenden Lückenbereich $\Delta\varphi_L$ die zu den Schaltern parallelliegenden Beschaltungskondensatoren C_B um den Betrag der Aktuatorspannung u_A umzuladen.

Beim Übergang des Stromes von einer Diode auf den parallelliegenden steuerbaren Schalter tritt außer der niedrigen Durchlassspannung keine zusätzliche Spannung auf. Auch beim Abschalten eines Schalters, wenn der Strom von diesem auf die parallelliegenden Kondensatoren übergeht, ist die Spannung an dem Schalter zunächst Null und steigt dann, nachdem der Schalter sperrt, mit einer durch den Kapazitätswert der parallelliegenden Kondensatoren gegebenen Steilheit

$$\frac{du}{dt} = \frac{i}{2C_B}$$

an. Die Schaltverluste der steuerbaren Schalter sind bei diesen Schaltvorgängen nahezu Null. Dieser Stromübergang ist, wie an Hand der Diagramme und Schaltzustände der Fig. 3 näher gezeigt wird, im Gleich- und Wechselrichterbetrieb identisch.

In dem Zustand 1 fließt der eingeprägte Strom i im Kurzschluss über die eingeschalteten Schalter S1 und S2. Dem durch eine Gleichspannungsquelle mit der Spannung U_A vereinfacht dargestellten Aktuator wird dabei kein Strom zugeführt. Der Zustand 2 beginnt mit dem Öffnen des Schalters S2 am Ende des Leitbereiches von S2 im Diagramm d). Der Strom i fließt nun im Zustand 2 über die zu den Schaltern S2 und S4 parallelliegenden Beschaltungskondensatoren. Wegen der Gleichheit der Kondensatoren fließt über jeden Kondensator der Strom $i/2$ und nur der Strom des zu S4 parallel liegenden Kondensators fließt über die Gleichspannungsquelle U_A . Der Umladezustand 2 ist beendet und geht in den Zustand 3 über, wenn der zu S2 parallel liegende Kondensator C_B auf die

Spannung U_A aufgeladen und der zu S4 parallel liegende Kondensator C_B völlig entladen ist. Im Zustand 3 fließt der Strom i zunächst über den Schalter S1 und die zu dem Schalter S4 parallelliegende Diode sowie über den Aktuator entgegen der Spannung U_A . Es liegt Gleichrichterbetrieb mit Leistungsfluss von der Wechselstromseite zu der Gleichspannungsseite vor. Nach Ablauf des

5 Lückenbereiches $\Delta\phi_L$ wird der spannungslose Schalter S4 geschlossen.

Diagramm a) zeigt in Zuordnung zum Strom i die zugehörige Spannung u am Eingang der Brückenschaltung und Diagramm b) den entsprechenden Abschnitt

10 aus einer Halbschwingung des Stromes i .

Es ist aus den Diagrammen a), b) und d) zu ersehen, dass durch eine voreilende Verschiebung der Leitbereiche von S2 und S4 nach links aus der mit S2MIN und S4MIN gekennzeichneten Grundstellung, wie durch Pfeile G angedeutet, die dem

15 Aktuator zugeführten Stromabschnitte vergrößert werden, bis annähernd die gesamte Halbschwingung dem Aktuator zugeführt wird. Beim Zurückverschieben der Leitbereiche nach rechts werden die Stromabschnitte bis auf den Winkel $\Delta\phi_A$ reduziert. Der Winkel $\Delta\phi_A$ ist der Winkelabstand der rechten Grenzen der Leitbereiche von S2MIN und S4MIN von dem nachfolgenden Stromnulldurchgang

20 und muss etwas größer sein als der gleichzeitig beginnende Lückenbereich $\Delta\phi_L$, damit die Umladung der zu S2 und S4 parallelliegenden Kondensatoren C_B vor dem Schließen des Schalters S4 und vor dem nächsten Nulldurchgang des Stromes i abgeschlossen ist. Das Schließen des Schalters S4 nach dem Umladen der Beschaltungskondensatoren und vor dem Nulldurchgang des Stromes i erfolgt

25 spannungslos, weil in diesem Bereich die zu S4 parallelliegende Diode leitet.

Im Gleichrichterbetrieb werden, wie die in ihrer Grundstellung verbleibenden Leitbereiche S10 und S30 der Schalter S1 und S3 in Diagramm d) zeigen, mit jedem Nulldurchgang die Schalter S1 bzw. S3 geöffnet. Dabei geht der Zustand 3

30 nach dem Stromnulldurchgang und nach dem Öffnen des Schalters S1 in den Zustand 5 über, in dem nun der zu Schalter S1 parallel liegende Kondensator auf die Spannung U_A aufgeladen und der zu Schalter S3 parallel liegende

Kondensator entladen werden. Ist letzterer entladen, übernimmt die parallel liegende Diode den Strom und der Schalter S3 wird nach dem Lückenbereich $\Delta\phi_L$ geschlossen. Der eingeprägte Strom i fließt nun im Bereich 6 im Kurzschluss über den Schalter S3 und die parallel liegende Diode sowie den Schalter S4. Der in der
5 negativen Halbschwingung des Stromes i liegende Bereich 6 entspricht dem Bereich 1 in der positiven Halbschwingung.

Wie Diagramm e) zeigt, haben die Leitbereiche aller Schalter in der Grundstellung des Gleichrichterbetriebes und in der Grundstellung des Wechselrichterbetriebes
10 die gleiche Phasenlage zum eingepprägten Strom i . Die Grundstellung des Wechselrichterbetriebes ist somit die Grundstellung des Gleichrichterbetriebes. Der Wechselrichterbetrieb wird dadurch realisiert, dass nun die Leitbereiche der Schalter S2 und S4 in ihrer Grundstellung S20 und S40 verbleiben und die Phasenlage der Leitbereiche der Schalter S1 und S3 aus ihrer Grundstellung
15 heraus nach rechts nacheilend verschoben werden. Dadurch bleibt am Ende des Bereiches 3 nach dem Nulldurchgang des Stromes i der Schalter S1 weiter geschlossen. Der Bereich 3 geht unter Beibehaltung der Schalterstellungen mit dem Stromnulldurchgang in Bereich 4 des Wechselrichterbetriebes über. Dabei ändert sich die Energieflussrichtung, der Aktuator wird entladen und die Energie
20 dem Wechselstromkreis zugeführt. Der Übergang von dem Gleichrichterbetrieb zum Wechselrichterbetrieb erfolgt durch Verlängern des Schalterzustandes 3 über den Stromnulldurchgang hinaus, ohne dass in dem durch Punktierung gekennzeichneten Bereich 4 ein zusätzlicher Schaltvorgang erforderlich ist. Je nach der Größe der durch Pfeile W gekennzeichneten Verschiebung der
25 Leitbereiche der Schalter S1 und S3 gegenüber dem Grundzustand $S1_{MIN} = S10$ und $S3_{MIN} = S30$ wird der Entladestrom i_A des Aktuators eingestellt. Beim Abschalten des Schalters S1 am Ende des Leitbereiches erfolgt der Übergang zu dem bereits beschriebenen Zustand 5. Bei symmetrischer Lage der Umladezustände 2 und 5 zum Nulldurchgang wird dem Aktuator im
30 Wechselrichterbetrieb in den Bereichen 4 und 5 genau soviel Ladung und Energie entzogen wie ihm in der Halbschwingung zuvor im Gleichrichterbetrieb in den

Bereichen 2 und 3 zugeführt wurde, d.h. in dieser Stellung der Leitbereiche ist der Mittelwert des Ladungstransportes und des Energieflusses Null.

Die erfindungsgemäße Aktuatorstelleinrichtung 4 hat, wie die Diagramme a) bis e) und die Schaltzustände 1 bis 6 zeigen, in jeder Halbschwingung des eingepprägten höherfrequenten Wechselstromes i nacheinander eine Phase des Betriebszustandes „Wechselrichterbetrieb“ mit dem Ladungs- und Energietransport vom Aktuator 5, 5a zur Wechselstromseite, eine Phase des Betriebszustandes „Leerlauf“ mit kurzgeschlossenem Wechselstromeingang und ohne Änderung des Ladungs- und Energiezustandes des Aktuators und eine Phase des Betriebszustandes „Gleichrichterbetrieb“ mit Ladungs- und Energietransport von der Wechselstromseite zum Aktuator 5, 5a. Die Phase des „Wechselrichterbetriebes“ beginnt mit jedem Nulldurchgang des Stromes i automatisch, wenn während der vor dem Stromnulldurchgang liegenden Phase des „Gleichrichterbetriebes“ die zu den leitenden Dioden parallelliegenden steuerbaren Leistungshalbleiter eingeschaltet wurden. Die Phase des „Wechselrichterbetriebes“ kann zu jedem beliebigen Zeitpunkt innerhalb der aktuellen Halbschwingung durch Abschalten eines der beiden in der „Wechselrichterphase“ leitenden steuerbaren Leistungshalbleiter beendet werden. Die Aktuatorstelleinrichtung geht dann in die „Leerlaufphase“. Durch Abschalten des weiteren in der „Leerlaufphase“ noch leitenden steuerbaren Leistungshalbleiters wird dann die Phase des „Gleichrichterbetriebes“ eingestellt. Dies muss mindestens bei einem Winkel $\Delta\phi_A$ vor dem folgenden Nulldurchgang des Stromes i erfolgen, um die vollständige Umladung der Beschaltungskondensatoren C_B in dem Lückenbereich $\Delta\phi_L$ zu gewährleisten.

Der Übergang zwischen den Phasen der Betriebszustände erfolgt durch Abschaltvorgänge, bei denen keine Abschaltverluste auftreten. Die Größe und die Richtung des mittleren Ladungs- und Energietransportes über die erfindungsgemäße Aktuatorstelleinrichtung wird durch die Dauer bzw. die Größe der Winkelbereiche der einzelnen Phasen bestimmt und im Gleichrichterbetrieb über die voreilende Verschiebung „G“ der Schalter S2, S4 gegenüber der

Grundstellung $S2_{MIN}=S20$ sowie $S4_{MIN}=S40$ und im Wechselrichterbetrieb über die nacheilende Verschiebung „W“ der Schalter $S1$, $S3$ gegenüber der Grundstellung $S1_{MIN}=S10$ sowie $S3_{MIN}=S30$ eingestellt.

- 5 Die Schaltungsanordnung nach den Figuren 1 und 2 ermöglicht nur die Einstellung von Aktuatorspannungen u_A eines Vorzeichens, d. h. die Ausgangsleitung B kann gegenüber der Ausgangsleitung A nur positiv gepolt sein. Für bestimmte Aktuatoren werden jedoch Aktuatorstelleinrichtungen 4 mit positiver und negativer Ausgangsspannung benötigt. Eine erfindungsgemäße Aktuatorstelleinrichtung 4, die diese Forderung erfüllt, ist in Fig. 5 dargestellt. Sie unterscheidet sich von der 10 Aktuatorstelleinrichtung 4 der Fig. 2 dadurch, dass in dem Stelleinrichtung 4c an Stelle der Halbleiterschalter $S1$, $S2$, $S3$, $S4$ der Schaltung 4a, die nur Spannung einer Polarität sperren und Strom einer Richtung ein- und ausschalten können, Halbleiterschalter verwendet werden, die Spannungen beider Polaritäten sperren 15 und Ströme in beiden Richtungen ein- und ausschalten können. Derartige bidirektionale Halbleiterschalter bestehen beispielsweise, wie in Fig. 4c und Fig. 5 gezeigt, aus einem Paar gegensinnig in Reihe geschalteter steuerbarer Halbleiterschalter $S1P/S3N$, $S2P/S4N$, $S3P/S1N$, $S4P/S2N$.
- 20 Die Wirkungsweise einer Aktuatorstelleinrichtung 4 für bidirektionale Ausgangsspannungen wird an Hand der in Fig. 4 gezeigten Stelleinrichtungen 4a) bis 4c) erläutert. In Fig. 4a) ist noch einmal die Stelleinrichtung für positive Ausgangsspannung u'_A der in Fig. 2 gezeigten Aktuatorstelleinrichtung 4 dargestellt. Zur Bildung einer negativen Ausgangsspannung u'_A müssen die 25 steuerbaren Halbleiterschalter bezogen auf die Ausgangsleitungen A,B' nach dem in Fig. 4b) gezeigten Schema angeordnet sein. Zur Unterscheidung der Halbleiterschalter in beiden Anordnungen haben die Schalter $S1$ - $S4$ in der Anordnung für positive Ausgangsspannung zusätzlich die Kennung „P“ und in der Anordnung für negative Ausgangsspannung zusätzlich die Kennung „N“ erhalten.
- 30 Die Ziffern 1-4 kennzeichnen in beiden Anordnungen Halbleiterschalter, die auf den Eingangsstrom i bezogen gleichphasig angesteuert werden. Die Schaltung 4c liefert eine positive Ausgangsspannung, wenn die mit „N“ bezeichneten

Halbleiterschalter dauernd in den leitenden Zustand geschaltet sind und die mit „P“ bezeichneten Halbleiterschalter in der an Hand der Figuren 2 und 3 beschriebenen Weise angesteuert werden. Beim Bilden einer negativen Ausgangsspannung u'_A bleiben die mit „P“ bezeichneten Halbleiterschalter
5 dauernd in den leitenden Zustand gesteuert und die mit „N“ bezeichneten Halbleiterschalter erhalten nun die Steuersignale, die beim Generieren einer positiven Ausgangsspannung den mit „P“ bezeichneten Halbleiterschaltern mit der gleichen Kennziffer zugeführt werden. Die Umschaltung der Steuersignale erfolgt in der Steuerung 4_{ST} der Fig.5 in Abhängigkeit von dem Vorzeichen der Differenz
10 $u_S - u_A$, wobei diese Vorzeicheninformation in der Information ϕ enthalten ist, beim Nulldurchgang der Ausgangsspannung des Aktuatorstellers, d. h. bei $u'_A = 0$.

Piezoelektrische Aktuatoren werden besonders vorteilhaft, wie Fig. 6 zeigt, mit 2 gegenphasig betriebenen Stapeln 5a, 5b aus piezoelektrischem Material
15 ausgerüstet. Hierbei sind die beiden Piezostapel 5a und 5b bezüglich einer annähernd konstant gehaltenen Vorspannung u_{AV} in Reihe und bezüglich einer zwischen dem Mittelpunktanschluss B und einem Außenleiteranschluss, beispielsweise A, angelegten Umladespannung u_{AU} parallelgeschaltet. Mit einem
20 derartigen Doppelaktuator werden größere Stellwege $\Delta s_1 + \Delta s_2$ und größere Stellkräfte erreicht als mit einem Aktuator, der nur einen Piezostapel aufweist. Bezüglich der Kapazität sind die beiden Stapel eines Doppelaktuators weitgehend gleich. Beim Einprägen eines Stromes i_A über den Mittelleiter B fließt der Strom je zur Hälfte über die beiden Außenleiter A und C zurück. Dabei wird der obere
25 Piezostapel 5b in Fig. 6 im Richtungssinn der Vorspannung u_{AV} entladen und der untere Piezostapel 5a im Richtungssinn der Vorspannung u_{AV} weiter aufgeladen, so dass bei dem oberen Stapel die durch die Ladung verursachte Dehnung zurückgeht und auf dem unteren Stapel die Dehnung zunimmt. Die Speisung
eines derartigen Doppelaktuators kann beispielsweise durch zwei
30 erfindungsgemäße Aktuatorsteller erfolgen. Werden mehr als zwei Doppelaktuatoren mit gleichen Stellaufgaben angesteuert, so können diese ihre Vorspannung von einem gemeinsamen Aktuatorsteller erhalten.

Da die Vorspannung u_{AV} von Doppelaktuatoren in der Regel konstant ist und nur die Umladespannung u_{AU} zur Steuerung der Bewegung verändert wird, kann die Gleichvorspannung auch von einem nach dem Stand der Technik ausgebildeten Netzgerät erzeugt werden. Dieses Netzgerät muss jedoch in der Lage sein, bei
5 annähernd konstanter Ausgangsspannung u_{AV} den über die
zusammengeschalteten Außenleiter A_x , C_x fließenden Strom $\sum_{x=1}^{x=m} \frac{I_{Ax}}{2}$ von m
Doppelaktuatoren zu liefern oder aufzunehmen. Diese Eigenschaft kann
beispielsweise dadurch erreicht werden, dass die Ausgangskapazität des
Netzgerätes wesentlich größer als die Kapazität der Doppelaktuatoren bemessen
10 wird.

Das Ausführungsbeispiel der Fig. 7 weist 2 Gruppen mit je 2 Doppelaktuatoren auf. Jede der beiden Aktuatorgruppen hat eine eigene
Vorspannungsstelleinrichtung 4.2 bzw. 4.5. Diesen werden die im allgemeinen
15 konstanten Vorspannungssollwerte VSS2 und VSS5 zugeführt. Die
Aktuatorstelleinrichtungen 4.1 und 4.3 der ersten Gruppe bzw. die
Aktuatorstelleinrichtungen 4.4 und 4.6 der zweiten Gruppe stellen durch die
Ströme i_{A1} , i_{A3} bzw. die Ströme i_{A4} , i_{A6} die Spannungen u_{AU1} , u_{AU3} bzw. u_{AU4} , u_{AU6}
und damit die Ladungen und die Längenänderungen der Doppelaktuatoren nach
20 den Spannungssollwerten u_{S1} , u_{S3} , bzw. u_{S4} , u_{S6} , ein. Diese Spannungssollwerte
werden entsprechend den in Fig. 1 und Fig. 7 dargestellten Ausführungsbeispielen
in einem Leitsystem LS als bitserielle Datenworte generiert, mittels einer nach
dem Stand der Technik ausgebildeten Datenübertragungseinrichtung DÜ über die
Trennstelle 3c übertragen und auf dem bewegbaren Teilsystem mittels eines
25 Datenwandlers DW in die für die Aktuatorstelleinrichtungen 4.1, 4.3, bzw. 4.4, 4.6
geeigneten Sollwerte gewandelt und den Stelleinrichtungen zugeführt.

Die Zufuhr des eingepprägten Stromes i' zu jeder der Aktuatorstelleinrichtungen
4.1, 4.3, 4.4, 4.6 und der Vorspannungsstelleinrichtungen 4.2 und 4.5 erfolgt über
30 die Sekundärwicklungen von Eingangstransformatoren 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 und
7.6 deren Primärwicklungen in Reihe geschaltet sind und durch den eingepprägten

Strom i aus der Sekundärwicklung 3b des die Trennstelle überbrückenden Transformators 3 gespeist werden. Die Primärwicklung 3a dieses Transformators wird entsprechend der Anordnungen von Fig. 1 und Fig. 2 von dem erfindungsgemäßen Frequenzgenerator 2 mit einem höherfrequenten Wechselstrom i_G konstanter Amplitude gespeist. Ist keine zu überbrückende Trennstelle vorhanden, speist der Frequenzgenerator 2 seinen Ausgangsstrom i_G direkt in die in Reihe geschalteten Primärwicklungen der Eingangstransformatoren 7.1 - 7.6 ein. Durch diese Eingangstransformatoren wird auf ihrer Sekundärseite Potentialfreiheit und Stromanpassung an die Stelleinrichtungen 4.1 - 4.6 und an die Aktuatoren erreicht. Die Ausgänge der potentialfreien Stelleinrichtungen können daher miteinander verbunden sein und ein gemeinsames Massepotential haben. Die Eingangsspannungen u'_1 bis u'_6 der Stelleinrichtungen 4.1 - 4.6 in Fig. 7 entsprechen der Eingangsspannung u'_G der Stelleinrichtung 4 in Fig. 1 und Fig. 2. Die über die Transformatoren 7.1 - 7.6 in Fig. 7 von den Eingängen der Stelleinrichtungen auf die Reihenschaltung der Primärwicklungen übertragenen Spannungen u'_{G1} bis u'_{G6} addieren sich in dem höherfrequenten Zwischenstromkreis HFZK, der aus den in Reihe geschalteten Primärwicklungen der Eingangstransformatoren 7.1 - 7.6 und der Sekundärwicklung 3b des die Trennstelle 3c überbrückenden Übertragers besteht, zu der resultierenden Gesamtspannung u'_G . Dabei gleichen sich entgegengesetzt gerichtete Leistungsflüsse in dem Zwischenstromkreis HFZK durch die Addition entgegengesetzt gerichteter Spannungen aus. Beispielsweise hat ein Leistungsfluss über die Aktuatorstelleinrichtung 4.1 zu dem angeschlossenen Aktuator eine im Sinne der Pfeilrichtung des Eingangsstromes i' positiv zu zählende Eingangsspannung u'_1 zur Folge. Von dem Aktuatorstrom i_{A1} fließt die Hälfte, d. h. der Strom $i_{A1}/2$ über die Vorspannungsstelleinrichtung 4.2 zurück. Die Zuordnung des Stromes $i_{A1}/2$ zu der Vorspannung u_{AV2} ergibt bei der Vorspannungsstelleinrichtung 4.2 einen Leistungsfluss von der Aktuatorseite zu dem höherfrequenten Zwischenstromkreis. Die zugehörige Eingangsspannung u'_2 ist dann der Eingangsspannung u'_1 entgegen gerichtet, wodurch die

Gesamtleistung im Zwischenstromkreis HFZK reduziert wird. Über den Übertrager 3 wird daher nur die resultierende Gesamtleistung aller Aktuatoren übertragen.

5 Anhand der Figur 8 wird vereinfacht dargestellt, in welcher Weise eine oben beschriebene Vorrichtung und das zugehörige Verfahren unter Verwendung der Vorrichtung im Bereich der Rotorwelle GR und der Rotorblätter BL eines Drehflügelflugzeugs, insbesondere eines Hubschraubers zur Anwendung kommt. An Bord des Hubschrauber fest montiert sind die notwendigen elektronischen Bauteile, wie beispielsweise die Stromversorgung PS, und der Frequenzgenerator MFG mit der Steuerungselektronik CI, und auch die Verbindung zur Flugsteuerung 10 STC des Hubschraubers.

An der Rotorwelle GR sind neben diversen Lagern BG verschiedene berührungslose Kopplungsvorrichtungen CD vorgesehen. Diese können einmal in 15 der Art eines optischen Kopplers DÜ (vgl. Fig. 1) ausgeführt sein, wie dies im Fall der Signalübertragung STM von der im Leitsystem LS (vgl. Fig. 1) integrierten Steuerungselektronik CI zum Lichtwellenleiter OW angedeutet ist. Zum anderen sind berührungslose induktive Signalübertragungen 3 (vgl. Fig. 1) vorgesehen, die beispielsweise bei der Energieübertragung ETM vom Frequenzgenerator MFG zur 20 Rotorkopfelektronik RHE Verwendung finden.

Bei der Übertragung der Signale des Azimut-Sensors AZS können beide Arten der Übertragung zur Anwendung kommen. Der Azimut-Sensor AZS dient dazu, Sollwertgrößen für die verschiedenen Aktuatoren in Abhängigkeit von der 25 momentanen Position des jeweiligen Rotorblattes innerhalb eines Umlaufs zu erzeugen.

Im Bereich der Rotorwelle sind weitere Funktionseinheiten angedeutet, die nur in mittelbarem Zusammenhang mit der Erfindung stehen, wie die mechanische 30 Rotorsteuerung RCM und die Rotorkopfsensoren RHS. Von der Rotorkopfelektronik RHE führen weitere elektrische Verbindungen in die Rotorblätter BL zu den Aktuatoren A, die die Ruderklappen FL bewegen, und zu

den Sensoren S, die Lage der Ruderklappen FL detektieren. Die Ruderklappen stehen hier beispielhaft für verschiedene Ausführungsformen aerodynamisch wirksamer Einrichtungen an den Rotorblättern. Die Rotorelektronik RHE enthält somit die oben ausführlich beschriebenen elektronischen Aktuatorsteleinrichtung
5 4 (vgl. Fig. 1, 2) und die weiteren zur Ansteuerung und Kontrolle der Aktuatoren A notwendigen elektronischen Schaltungen, wie beispielsweise den Datenwandler DW (vgl. Fig. 1).

Die Figur 9 zeigt schließlich eine Detaillösung bezüglich der berührungslosen
10 induktiven Energieübertragung ETM, die in der Figur 8 nur schematisch vereinfacht dargestellt ist. Innerhalb einer statischen Rotorwellenlagerung SP ist die als Hohlwelle ausgeführte Rotorwelle RTG drehbar gelagert. Im Bereich der Drehachse der rotierenden Hohlwelle RTG sind der Lichtwellenleiter OW für die optische Datenübertragung und coaxial um diesen herum die beiden leitfähigen
15 Metallrohre CMW angeordnet. Beide Leiter führen in Pfeilrichtung nach rechts zu der nicht dargestellten Rotorkopfelektronik RHE.

Die beiden leitfähigen Metallrohre CMW sind über die Verbindungsleitungen CC mit der gemeinsam mit der Rotorwelle rotierenden Wicklung w_2 (entsprechend 3b
20 in Figur 1) elektrisch verbunden. Zusammen mit der statischen Wicklung w_1 (entsprechend 3a in Figur 1) bildet die rotierende Wicklung w_2 den berührungslosen Übertrager (entsprechend 3 in Figur 1). Die Zuleitungen zur stationären Wicklung w_1 sind in der Figur 9 nicht explizit dargestellt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur berührungslosen elektrischen Energieübertragung und/ oder
Kontrolleinrichtung in einem System, umfassend mindestens ein stationäres und
5 ein bewegbares Teil, zwischen denen Energie zu übertragen ist, mit mindestens
einem zu steuernden und mit Energie zu versorgenden Mittel im bewegbaren Teil,
wobei ein Reihenschwingkreiskondensator (C_G) eines Frequenzgenerators an eine
Primärwicklung (3a) eines Trennstelle (3c) zwischen dem stationären Teil und
dem bewegbaren Teil überbrückenden induktiven Übertragers angeschlossen ist,
10 **dadurch gekennzeichnet**, dass eine auf dem bewegbaren Teil angeordnete
Sekundärwicklung (3b) des Übertragers an wenigstens eine
Aktuatorstelleinrichtung (4) in der Form einer Matrixanordnung (4a, 4b, 4c) von
schaltbaren Leistungshalbleitern (S_1, \dots, S_4) angeschlossen ist,
und dass mindestens wesentliche Teile der Energieübertragung und der
15 Kontrolleinrichtung im Bereich einer das bewegliche Teil bildenden Rotorachse
und eines Rotorkopfes eines Drehflügelflugzeugs angeordnet sind
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das zu
steuernde und mit Energie zu versorgende Mittel als kapazitiver Aktuator
20 ausgeführt ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass in
wenigstens einem Rotorblatt des Drehflügelflugzeugs einer oder mehrere
kapazitive Aktuatoren angeordnet sind.
- 25 4. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
a) zur Bildung einer Ausgangsspannung (u'_A, u_A) der Stelleinrichtung (4) mit nur
einer Polarität der Ausgangsleiter (A, B') enthält die Aktuatorstelleinrichtung (4a,
4b) unipolare schaltbare Leistungshalbleiter (S_1, \dots, S_4) in Matrixanordnung,
30 b) die unipolaren schaltbaren Leistungshalbleiter sind auf die Polarität der
Ausgangsspannung bezogen eingesetzt, in der sie die Ausgangsspannung (u'_A ,

u_A) als Sperrspannung aufnehmen und den Strom ($-I_A$) vom positiven Ausgangsleiter zu einem Wechselstromeingang abschalten.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bildung einer Ausgangsspannung (u'_A , u_A) der Stalleinrichtung (4) mit wechselnder Polarität der Ausgangsleiter (A, B') die Aktuatorstalleinrichtung (4c) bipolare schaltbare Leistungshalbleiter in Matrixanordnung aufweist, die wahlweise positive oder negative Spannungen sperren und Ströme in beiden Stromflussrichtungen abschalten.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 4 oder 5, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
- die Aktuatorstalleinrichtung (4) weist Mittel zur Regelung (4_R) und zur Steuerung (4_{ST}) des Einprägens von positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von Halbschwingungen des höherfrequenten Wechselstromes (i) in den Aktuator (5, 5a) auf,
 - das Mittel zur Regelung (4_R) ist verbunden mit dem Mittel zur Steuerung (4_{ST}), um über ein Signal (ϕ) in Abhängigkeit von dem Betrag des Unterschiedes ($u_S - u'_A$) zwischen dem Sollwert (u_S) und dem Istwert (u'_A) der Aktuatorspannung unterschiedlich große Abschnitte von Halbschwingungen des Stromes (i) zu bilden,
 - das Mittel zur Regelung (4_R) ist verbunden mit dem Mittel zur Steuerung (4_{ST}), um über das Signal (G/W) in Abhängigkeit von dem Vorzeichen des Unterschiedes ($u_S - u'_A$) zwischen dem Sollwert (u_S) und dem Istwert (u'_A) der Aktuatorspannung, die Leistungshalbleiter (S1, S2, S3, S4) in der Weise zu steuern, wobei dem Aktuator (5, 5a) bei negativem Vorzeichen des Unterschiedes ($u_S - u'_A$) von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie entzogen und bei positivem Vorzeichen des Unterschiedes ($u_S - u'_A$) von Halbschwingung zu Halbschwingung sukzessive Ladung bzw. Energie zugeführt wird.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 4 bis 6, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:
- a) das Mittel zur Steuerung (4_{ST}) des Einprägens von Halbschwingungen oder Abschnitten von Halbschwingungen des Wechselstromes (i) in den Aktuator ist
5 Verbunden mit Einrichtungen (4_{S1} , 4_{S2} , 4_{S3}) zur Erzeugung von Signale (SR) eines zum Wechselstrom (i) synchronisierten Schaltrasters,
 - b) das Mittel zur Steuerung (4_{ST}) umfasst Logikmittel, welche aus Signalen (SR) des Schaltrasters Leitbereichssignale ($S10$, $S30$) und ($S20$, $S40$) der Grundstellung der in Reihe liegenden Halbleiterschalterpaare ($S1, S3$) und ($S2$,
10 $S4$) bilden,
 - c) das Mittel zur Steuerung (4_{ST}) umfasst Mittel zur voreilenden Verschiebung der Leitbereiche des Schalterpaares ($S2$, $S4$) gegenüber der Grundstellung ($S20$, $S40$) im Gleichrichterbetrieb und umfasst Mittel zur nacheilenden Verschiebung der Leitbereiche des Schalterpaares ($S1$, $S3$) gegenüber der Grundstellung ($S10$,
15 $S30$) im Wechselrichterbetrieb,
 - d) das Mittel zur Steuerung (4_{ST}) ist verbunden mit dem Mittel zur Regelung (4_R) zur Zuführung eines Signals (G/W) zur Einstellung der Richtung der Verschiebung und eines Signals (φ) zur Einstellung des Maßes der Verschiebung.
- 20 8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am stationären Teil einer Rotorachsenlagerung zur Energieübertragung wenigstens eine Primärwicklung (3a) angeordnet ist, welche mit einer an der Rotorachse angeordneten Sekundärwicklung korrespondiert.
- 25 9. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Rotorachse ein Azimut-Sensor angeordnet ist, dessen Ausgang mit der Kontrolleinrichtung verbunden ist.
- 30 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 8, 9, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des Rotorblatts wenigstens ein Sensor zur Erfassung der Position eines vom kapazitiven Aktuator betätigten aerodynamisch wirksamen Mittels angeordnet ist, dessen Ausgang mit der Kontrolleinrichtung verbunden ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktuatorstelleinrichtung (4) und eine zugehörige Steuerelektronik im Rotorkopf angeordnet sind und über in der Rotorachse angeordnete Leitungen mit der berührungslosen Energieübertragung verbunden sind.
12. Verfahren zum Bereitstellen der Energie wenigstens eines kapazitiven Aktuators gemäß der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 4 bis 7, wobei die Aktuatoren auf einem bewegbaren Teilsystem, das durch eine Trennstelle (3c) von einem stationären System getrennt ist, angeordnet sind, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
- in dem stationären System generiert der Frequenzgenerator (2) aus der Gleichspannung (1) einen Wechselstrom (i_G) höherer Frequenz mit von der Phasenlage und der Amplitude der Gegenspannung (u_G) unabhängigen Amplitude,
 - der Wechselstrom (i_G) wird der Primärwicklung (3a) eines die Trennstelle überbrückenden induktiven Übertragers (3) zugeführt,
 - der von der Sekundärwicklung (3b) auf dem bewegbaren Teilsystem ausgehende höherfrequente Wechselstrom (i) wird mittels einer Aktuatorstelleinrichtung (4) getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder Abschnitten von diesen Halbschwingungen, stets in der Richtung in den Aktuator eingeprägt, dass in jeder Halbschwingung eine Längenänderung (Δs) des Aktuators in der gewünschten Richtung auftritt.
13. Verfahren zum Bereitstellen der Energie wenigstens eines kapazitiven Aktuators gemäß der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 4 bis 7, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
- aus einer Gleichspannung wird durch einen Frequenzgenerator (2) ein Wechselstrom (i_G) höherer Frequenz mit von der Phasenlage und der Amplitude einer Gegenspannung (u_G) unabhängigen Amplitude generiert,

- der höherfrequente Wechselstrom (i) wird mittels einer elektronischen
Stelleinrichtung (4) getrennt nach positiven und negativen Halbschwingungen oder
Abschnitten von diesen Halbschwingungen stets in der Richtung in den Aktuator
eingeprägt, dass in jeder Halbschwingung eine Längenänderung (Δs) des
5 Aktuators in der gewünschten Richtung auftritt.

14. Verwendung einer berührungslosen elektrischen Energieübertragung und/
oder Kontrolleinrichtung gemäß den Ansprüchen 1 bis 13 in einem
Drehflügelflugzeug.